

①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

①2 Off nl gungsschrift  
①1 DE 3409657 A1

⑤1 Int. Cl. 4:  
G02 B 21/10

②1 Aktenzeichen: P 34 09 657.4  
②2 Anmeldetag: 16. 3. 84  
④3 Offenlegungstag: 19. 9. 85

DE 3409657 A1

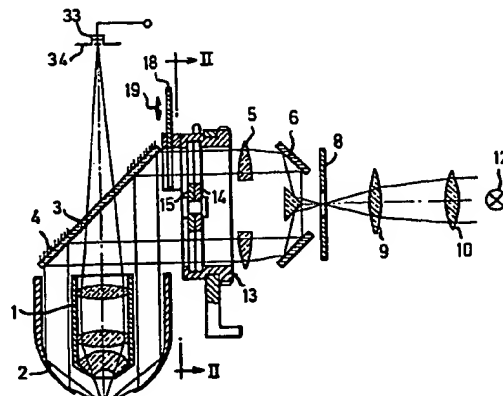
⑦1 Anmelder:  
Fa. Carl Zeiss, 7920 Heidenheim, DE

⑦2 Erfinder:  
Baur Schmidt, Peter, Dr., 7080 Aalen, DE

Behördenbesitz

⑥4 Dunkelfeldbeleuchtungseinrichtung für Mikroskope

Für die mikroskopische Beobachtung und Vermessung von Leiterbahnstrukturen in integrierten Schaltkreisen wird eine modifizierte Auflicht-Dunkelfeldbeleuchtungseinrichtung vorgeschlagen, mit der die Richtung der Beleuchtungsstrahlenbündel azimuthal in bezug auf das Objekt definiert einstellbar ist. Dazu ist zwischen der Lichtquelle (12) und dem das Objektiv (1) des verwendeten Mikroskops umgebenden, ringförmigen Auflichtkondensator (2) eine Sektorenblende (13-15) vorgesehen, die eine kontinuierliche bzw. quasikontinuierliche Ausblendung einzelner Sektoren des ringförmigen Strahlenbündels erlaubt. Durch Ausblendung werden zwei diametral gegenüberliegende Teilstrahlenbündel erzeugt, deren Breite variabel ist und im Sinne einer Optimierung des Signalrauschverhältnisses individuell an das zu untersuchende Objekt angepasst werden kann.



DE 3409657 A1

## Patentanspruch :

1. Dunkelfeldbeleuchtungseinrichtung für Mikroskope, bei der Teilbe-  
reiche des Beleuchtungsstrahlenbündels ausblendbar sind, dadurch  
5 gekennzeichnet, daß zwischen der Lichtquelle (12,32) und dem Konden-  
sor (2) eine Blendeneinrichtung (13-15;23,24;25) vorgesehen ist, die  
zwei bezüglich der optischen Achse einander gegenüberliegende Strahl-  
bündel mit radial kontinuierlich bzw. quasikontinuierlich einstell-  
baren Abmessungen erzeugt.  
10
2. Dunkelfeldbeleuchtungseinrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekenn-  
zeichnet, daß die beiden Strahlbündel gemeinsam um die optische Achse  
drehbar sind.
- 15 3. Dunkelfeldbeleuchtungseinrichtung nach Anspruch 1-2, dadurch gekenn-  
zeichnet, daß eines der beiden Strahlbündel zusätzlich ausblendbar  
ist.
4. Dunkelfeldbeleuchtungseinrichtung nach Anspruch 1-3, dadurch gekenn-  
20 zeichnet, daß die Blendeneinrichtung (13) aus zwei gegeneinander  
verdrehbaren Doppelsektorblenden (14/15) besteht.
5. Dunkelfeldbeleuchtungseinrichtung nach Anspruch 1-4, dadurch gekenn-  
zeichnet, daß als Lichtquelle ein Laser (32) verwendet ist und ein  
25 Strahlteiler (27) vorgesehen ist, der den Strahl des Lasers in zwei,  
jeweils auf Blenden variabler Breite gerichtete Teilstrahlen aufspal-  
tet.
6. Dunkelfeldbeleuchtungseinrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekenn-  
30 zeichnet, daß einer der beiden Teilstrahlen ausblendbar ist.
7. Dunkelfeldbeleuchtungseinrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekenn-  
zeichnet, daß der Strahlteiler (27) und die beiden Blenden variabler  
Breite zu einer um die optische Achse drehbaren Baueinheit (31) zu-  
35 sammengefaßt sind.

15.03.04

3409657

. 2 .

8. Dunkelfeldbeleuchtungseinrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Blendeneinrichtung aus einem in eine Vielzahl von Einzelsektoren (24) aufgeteilten elektrooptischen Schalter (23) besteht.

5

9. Dunkelfeldbeleuchtungseinrichtung nach Anspruch 1-8, dadurch gekennzeichnet, daß die Blendeneinrichtung (13;23;25) in einer Auflichtbeleuchtungseinrichtung zwischen dem das Objektiv (1) umgebenden, ringförmigen Auflichtkondensor (2,4) und der Lichtquelle (12;32) angeordnet ist.

10

15

20

25

30

35

15.03.84

3409657

. 3 .

5

Firma Carl Zeiss, 7920 Heidenheim (Brenz)

10

15

Dunkelfeldbeleuchtungseinrichtung für Mikroskope

20

25

30

35

84012 P

84012 G

Dunkelfeldbeleuchtungseinrichtung für Mikroskope

Die Erfindung betrifft eine Dunkelfeldbeleuchtungseinrichtung für Mikroskope, bei der Teilbereiche des Beleuchtungsstrahlenbündels ausblendbar  
5 sind.

Eine solche Dunkelfeldbeleuchtung ist z.B. in der EP-PS 0011709 beschrieben. Diese bekannte Dunkelfeldbeleuchtung wird in Verbindung mit einem Mikroskop benutzt, das vorzugsweise in der Halbleiterindustrie zur  
10 Auffindung, Vermessung und Ausrichtung von Leiterbahnstrukturen in integrierten Schaltkreisen verwendet wird. Für den genannten Anwendungsfall, in dem die zu untersuchenden Strukturen sich im wesentlichen in zwei zueinander rechtwinklige Richtungen erstrecken, bietet eine sektorielle Dunkelfeldbeleuchtung des Objekts mit bestimmten Vorzugsrichtungen Vor-  
15 teile bei der Erkennung der Geometrie der genannten Strukturen.

In der bekannten Einrichtung werden zur Erzielung einer solchen sektoriellen Dunkelfeldbeleuchtung gruppenweise zusammengefaßte Lichtleiterendflächen in einem ringförmigen Bereich innerhalb der durch die Öff-  
20 nungsblende des Objektivs bestimmten Apertur angeordnet. Dies hat jedoch mehrere Nachteile.

Einmal wird durch diesen Lichtleiterzusatz die für die Beobachtung zur Verfügung stehende Apertur des Objektivs beschränkt. Darunter leidet  
25 jedoch das Auflösungsvermögen, an das bei fortschreitender Miniaturisierung der Leiterbahnen immer höhere Anforderungen gestellt werden.

Zum anderen ist der Inzidenzwinkel des Beleuchtungslichtes nicht optimal, der im Hinblick auf optimale Beobachtung eher in Richtung auf  
30 streifenden Einfall hin vergrößert werden sollte.

Schließlich ist es nicht möglich die Abmessungen des eingestellten Beleuchtungssektors am beobachteten Objekt so zu optimieren, daß sich jeweils das optimale Signal/Rauschverhältnis bei der Detektion der nach-  
35 zuweisenden Kanten der Leiterbahnen ergibt.

Die vorstehend genannten Nachteile besitzt auch die Beleuchtungseinrich-

tung des aus der DE-PS 31 08 389 bekannten Geräts, das ebenfalls die Dunkelfeldbeleuchtung nur innerhalb eines die Objektivapertur beschränkenden, ringsegmentförmigen Bereiches auszublenden gestattet.

5 Es ist die Aufgabe der vorliegenden Erfindung eine sektorielle Dunkelbeleuchtung zu schaffen, deren Parameter an zu untersuchenden Objekt individuell optimiert werden können, deren Strahlen unter großem Inzidenzwinkel gegen die optische Achse des Objektivs einfallen und die die Apertur des Beobachtungsobjektivs nicht beschneidet.

10

Diese Aufgabe wird gemäß den im Kennzeichen des Hauptanspruches genannten Merkmalen gelöst.

Der Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, daß der von den Kanten einer Leiterbahn gestreute Anteil des Lichtes, der mit Hilfe des Objektivs z.B. bei der Leiterbahnbreitenvermessung nachgewiesen wird, nur dann besonders hoch ist, wenn die Einstrahlrichtung senkrecht zur Kante der Leiterbahn verläuft. Strahlbündel, für die diese Bedingung nicht gilt, tragen nur verhältnismäßig wenig zum Nutzlicht bei. Dagegen ist 20 die Störstrahlung, die durch Reflexe an Unebenheiten (Rauigkeiten oder Defekten der Oberfläche) des Objekts hervorgerufen wird aufgrund ihrer statistischen Verteilung unabhängig vom Azimutwinkel der auftretenden Beleuchtungsstrahlenbündel. Ihre Amplitude hängt in erster Linie von der Oberflächenqualität der zu untersuchenden Probe ab.

25

Durch die erfindungsgemäße Beleuchtungseinrichtung werden nun zwei einander gegenüberliegende Strahlbündel erzeugt, deren radiale Abmessungen kontinuierlich bzw. quasikontinuierlich einstellbar sind. Damit lassen sich die Sektoren des Beleuchtungsstrahlenbündels, die nur zum Störsig- 30 nal, nicht jedoch zum Nutzsignal beitragen, individuell im Sinne einer Optimierung des Kontrastes bei visueller Beobachtung bzw. des Signal/Rauschverhältnisses bei photoelektrischem Nachweis der Leiterbahnen ausblenden.

35 Zweckmäßig sind die von der Blendeneinrichtung erzeugten, gegenüberliegende Strahlbündel gemeinsam um die optische Achse drehbar, was beispielsweise durch eine Drehung der Blendeneinrichtung selbst erfolgen

- 5 -

. 6 .

kann. Damit können die gegenüberliegende Strahlbündel mit ihrer Verbindungslinie senkrecht zu den geometrischen Strukturen in der Objektebene eingestellt werden ohne das Objekt zu bewegen.

5 Außerdem ist es vorteilhaft, daß eines der beiden Lichtbündel ganz ausblendbar ist, wenn anstelle von Leiterbahnen mit einer Doppelkante singuläre Kanten beobachtet und vermessen werden sollen.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind den Unteransprü-  
10 chen entnehmbar und werden anhand der Figuren 1-5 der beigefügten Zeichnungen näher erläutert:

Fig. 1 ist eine Prinzipskizze eines ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung;

15

Fig. 2 ist eine Aufsicht auf die Blendeneinrichtung (13) aus Fig. 1 in Richtung der optischen Achse der Beleuchtungseinrichtung;

Fig. 3 ist die Prinzipskizze einer alternativen Ausführungsform für die Blendeneinrichtung aus Fig. 2;

20

Fig. 4 ist eine Prinzipskizze eines zweiten Ausführungsbeispiels der Erfindung;

25 Fig. 5a-c sind Diagramme, in denen aufgetragen ist abhängig vom Azimutwinkel der Beleuchtung, die Intensität

a) des von einer Einzelkante hervorgerufenen Nutzlichtsignals ( $I_S$ )

b) des von einer Leiterbahn (Doppelkante) hervorgerufenen Nutzlichtsignals ( $I_S$ )

30

c) des zum Rauschen beitragenden Störsignals ( $I_N$ ) und dessen Integral  $\int I_N d\alpha$  aufgrund von Streuung an Oberflächendefekten.

35 In Fig. 1 ist der Beleuchtungsstrahlengang eines Auflichtmikroskops in seinen wesentlichen Bestandteilen skizziert. Dabei ist mit 2 der das Objektiv 1 umgebende Auflichtkondensor in Form eines konkaven Ringspie-

- 4 -

. 7 .

gels bezeichnet, durch den das von dem verspiegelten Kreisring 4 des Dunkelfeldreflektors 3 im Auflichtilluminator eingespiegelte Beleuchtungsstrahlenbündel auf das Objekt fokussiert wird.

5 Beobachtungsseitig befindet sich über den Dunkelfeldreflektor 3 unter anderem eine Meßblende 34 und dahinter angeordnet ein photoelektrischer Detektor 33 zum Nachweis des vom Objektiv 1 erfaßten Lichtes. Die übrigen optischen Elemente des Beobachtungsstrahlenganges wie z.B. mehrere Strahlteiler, Tubusoptik, Okulare etc. sind nicht dargestellt.

10

Der Beleuchtungsstrahlengang enthält weiterhin eine Glühlampe 12, einen Lampenkollektor 9, 10 und eine Leuchtfeldblende 8. Daran schließen sich, in Lichtrichtung gesehen, ein kegelförmiger Spiegel 7 und ein ringförmiger Spiegel 6 an, die zusammen eine Spiegeltreppe bilden, in der das 15 kreisförmig begrenzte Beleuchtungsstrahlenbündel verlustfrei an die ringförmige Geometrie des Auflicht-Dunkelfeldkondensors 2 angepaßt wird. Hinter dem Ringspiegel 6 ist ein ringförmige Hilfslinse 5 angeordnet.

Zwischen der Ringlinse 5 und dem Dunkelfeldreflektor 3 im Auflichtillu- 20 minator befindet sich eine Blendeneinrichtung 15, mit deren Hilfe zwei bezüglich der optischen Achse des Objektivs 1 einander gegenüberliegende Strahlbündel mit radial kontinuierlich einstellbaren Abmessungen erzeugt werden. Dazu besitzt die Blendeneinrichtung 13, wie Fig. 2 zeigt, zwei über Hebel 16 und 17 gegeneinander verdrehbare Sektorblenden 14 und 15. 25 Diese Sektorblenden decken jeweils zwei Quadranten aus dem ringförmigen Querschnitt des Beleuchtungsstrahlenbündels ab und erlauben somit eine simultane Einstellung der radialen Abmessungen des Querschnitts der gegenüberliegenden Beleuchtungsstrahlenbündel zwischen  $\alpha = 0^\circ$  und maximal  $\alpha = 90^\circ$ .

30

Beide Sektorblenden 15 und 14 können außerdem, wie durch den Pfeil 11 angedeutet ist, gemeinsam um die optische Achse gedreht werden, damit die Verbindungslinie der beiden Blendenöffnungen senkrecht zu den Konten der Strukturen in der Objektebene eingestellt werden kann.

35

Außerdem enthält die Blendeneinrichtung 13 zusätzlich eine weitere, in Richtung des Pfeils 19 einschaltbare Blende 18, mit der einer der beiden



- 8 -  
8.

von den Sektorblenden 14 und 15 erzeugten, gegenüberliegenden Strahlbündel völlig ausgeblendet werden kann.

In Fig. 5a ist das Signal  $I_S$  aufgetragen, das der Detektor 33 abgibt, wenn sich eine einzelne Kante im Sehfeld des Objektivs 1 befindet und die beiden Sektorblenden 14 und 15 so gegeneinander verdreht sind, daß nur zwei sehr schmale, nahezu strichförmige Strahlbündel durchgelassen werden, von denen einer durch die eingeschaltete Blende 18 abgeblockt wird. Wird die Blendeneinrichtung 13 gedreht, und ändert sich der Azimutalwinkel des auf die Kante einfallenden schmalen Lichtbündels zwischen  $0^\circ$  und  $360^\circ$ , dann durchläuft das von der Kante herrührende Nutzsignal  $I_S$  ein Maximum bei  $90^\circ$ , was der Einstrahlung senkrecht in Richtung auf die Stufe der Kante entspricht, und ein Minimum bei  $270^\circ$ , was der Einstrahlung senkrecht über die Stufe der Kante hinweg entspricht.

In Fig. 5b hingegen ist das Signal aufgetragen, das unter sonst gleichen Bedingungen von einer Leiterbahn herrührt, die als Doppelkante angesehen werden kann. Das Signal dieser Doppelkante besitzt zwei Maxima und zwar jeweils bei Einstrahlung senkrecht in Richtung auf die Abstufung einer der beiden Kanten der Leiterbahn, d.h. bei  $90^\circ$  und  $270^\circ$ .

Den Signalen  $I_S$  nach Fig. 5a und 5b ist ein winkelunabhängiges Störsignal  $I_N$  überlagert, das von statistisch verteilten Oberflächendefekten der Probe herrührt und beispielsweise von der Rauhtiefe des Materials abhängt (siehe Fig. 5c). Vergrößert man den Querschnitt des Beleuchtungsstrahlenbündels durch Öffnen der Sektorblenden 13/14, dann nimmt das Störsignal proportional zum Winkelbereich des Sektors zu. Das Nutzsignal  $I_S$  nimmt jedoch nicht mehr wesentlich zu, wenn die Sektorenbreite des Beleuchtungsstrahlenbündels über den von den gestrichelten Linien in Fig. 5a und 5b begrenzten Winkelbereich vergrößert wird. Eine Ausblendung desjenigen Beleuchtungsstrahlensektors, der nicht zum Nutzsignal beiträgt, erniedrigt daher die Nachweisgrenze und verbessert damit die Reproduzierbarkeit der Messung von Kantenstrukturen.

In Fig. 3 ist eine alternative Ausführungsform für die Blendeneinrichtung 13 in Fig. 1 bzw. Fig. 2 dargestellt. Sie besteht aus einem Träger 20, auf den aus einer Vielzahl von Einzelsegmenten 24 bestehender, ring-

- / -  
. 9.

förmig r el ktrooptischer Schalter 23, beispielsweise in Form einer Flüssigkeitskristallzelle mit einer fächerförmigen Elektrodenanordnung, aufgebracht ist. Die Einzelsegmente 24 des Schalters 23 sind mit den Ausgängen einer Steuerschaltung 21 verbunden und können über eine Eingabetastatur von einer Logikeinheit 22 angewählt werden. Der Transmissionsgrad der Einzelsegmente läßt sich entsprechend der angelegten Spannung etwa um einen Faktor 50 ändern. Mit einer solchen Blendeneinrichtung lassen sich daher mehrere sektorförmige Bereiche des Beleuchtungsstrahlenbündels mit quasikontinuierlich einstellbarer Breite ausblenden.

10

Das in Fig. 4 dargestellte Ausführungsbeispiel enthält als Lichtquelle einen Laser 32, dessen Strahl durch einen nachgeschalteten Strahlteiler 27 in zwei Teilstrahlen aufgespalten wird. Nach Reflexion an zwei Umlenkspiegeln 26, 29 bzw. 30 fallen die beiden danach parallelversetzt geführten Teilstrahlen des Lasers 32 auf eine Sektorblende 25 auf, die ähnlich wie die Blendeneinrichtung 13 in Fig. 1 aufgebaut ist und eine kontinuierliche Einstellung der Breite der beiden Strahlbündel erlaubt.

Eine der beiden Strahlbündel ist wieder durch einen Blendenschieber 28 ausblendbar, der zwischen der Spiegelfläche 29 des Strahlteilerprismas 27 und dem Umlenkspiegel 26 eingeschoben werden kann.

Die Sektorblende 25, das Strahlteilerprisma 27, die Schaltblende 28 und die Umlenkspiegel 26 und 30 sind zu einer Baueinheit 31 zusammengefaßt, die um die optische Achse des einfallenden Strahls des Lasers 32 drehbar ist und anstelle einer herkömmlichen Auflicht-Dunkelfeldbeleuchtung am Stativ eines Mikroskops oder Mikrophotometers befestigt werden kann.

Mit diesem Zusatz eignet sich das Gerät dann besonders gut zur Beobachtung und Vermessung von Leiterbahnstrukturen in der Halbleiterindustrie.

• 10 •  
- Leerseite -

15.03.84

- 13 -

Nummer: 34 09 657  
 Int. Cl.<sup>3</sup>: G 02 B 21/10  
 Anmeldetag: 16. März 1984  
 Off. nlegungstag: 19. September 1985

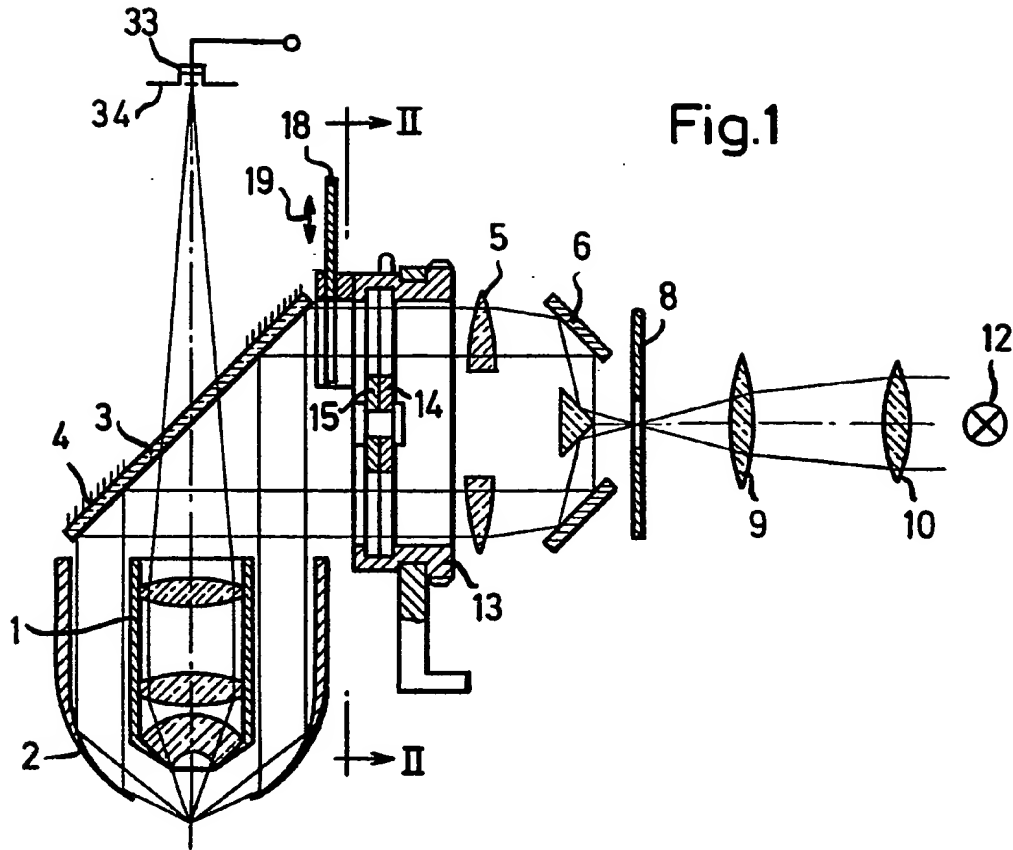


Fig. 1

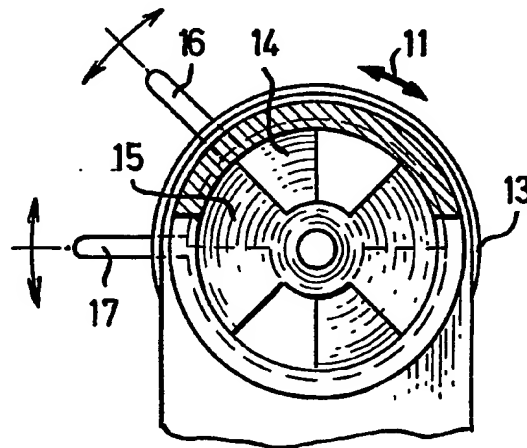


Fig. 2

- 11 -

Fig.3

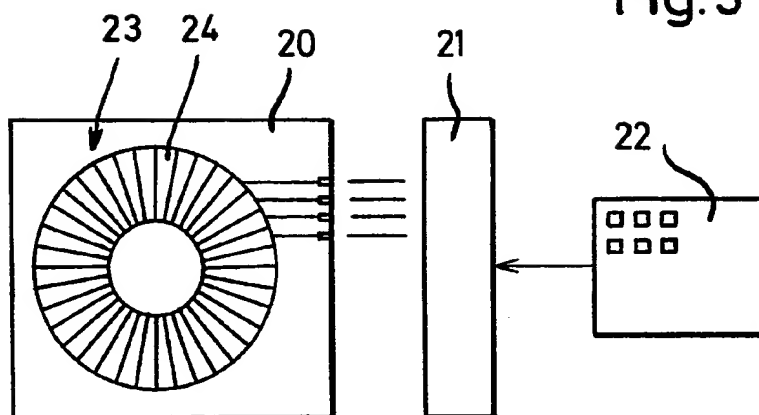
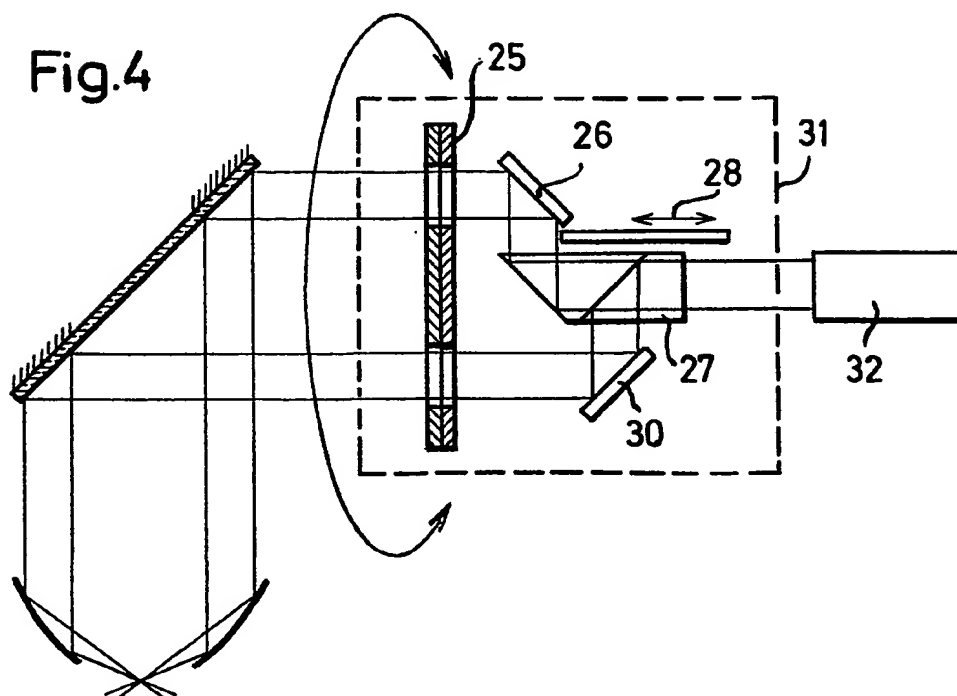


Fig.4



- 12 -

